

02

Chapter 02

탄소 포집 활용 저장 기술
동향과 선도 기업들

탄소배출을 줄일 수 없다면
배출된 탄소를 활용하자

딜로이트 인사이트 편집국



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

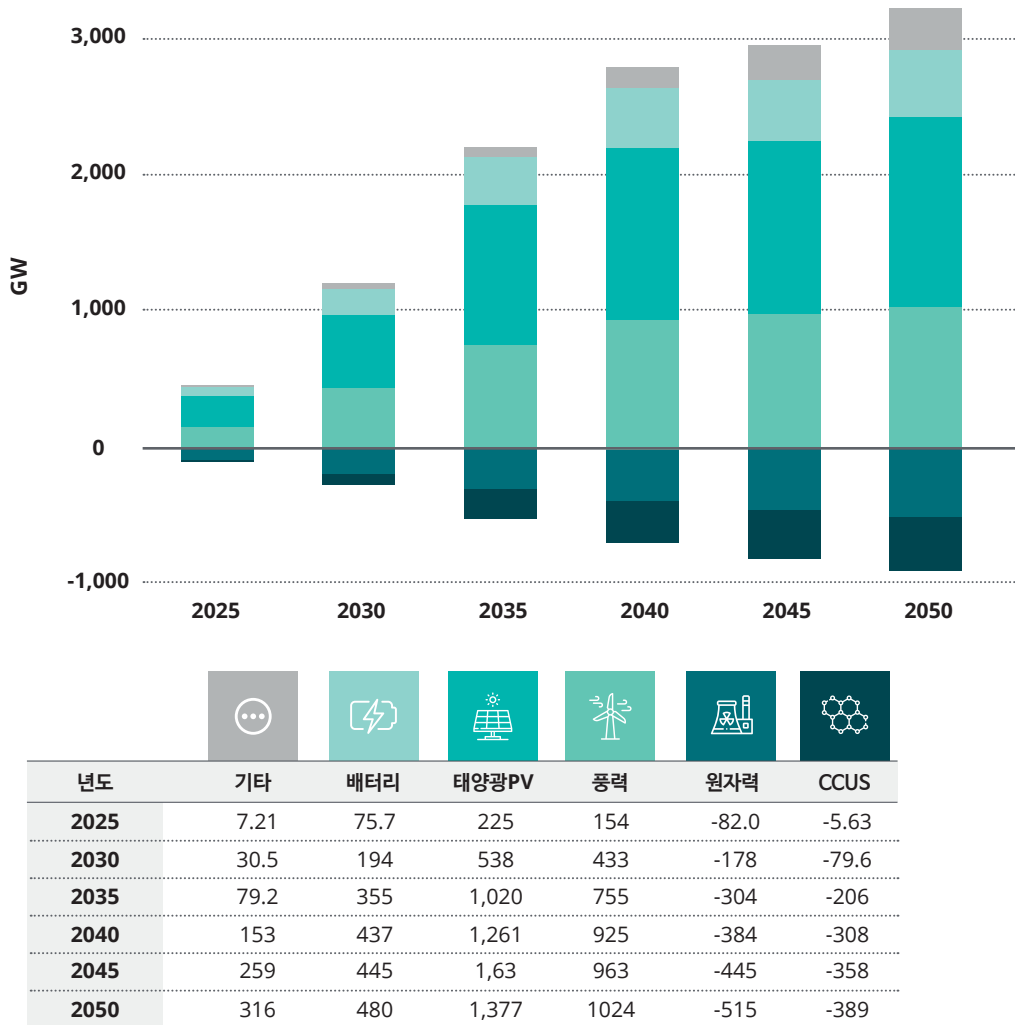
탄소포집·활용·저장기술(CCUS)은 말 그대로 탄소를 포집(Capture), 활용(Utilization) 또는 저장/격리(Storage/Sequestration)하는 기술로, 포집한 이산화탄소를 '자원화'하는 것을 일컫는다. CCUS는 이미 1972년에 미국의 발베르데 천연가스 발전소(Val Verde Natural Gas Power Plant)에서 활용되기 시작하였고, 이후 약 50년 동안 꾸준한 발전을 통해 최근에 상용화 단계에 이르렀다. 이에 불을 지피기 위해 테슬라(Tesla)의 일론 머스크(Elon Musk) 최고경영자(CEO)는 4년간 탄소 포집 기술 경연대회에서 1기가톤의 탄소 포집 기술을 개발한 팀에게 1억달러 상당의 기부금을 내걸기도 했다.

이처럼 CCUS 개발에 이목이 다시 집중되는 이유는 뭘까? 파리기후협정(Paris Climate Agreement)에서 약속한 대로 2050년까지 지구 온도 상승 폭을 1.5°C까지 낮추려면 재생에너지 사용의 증가와 에너지 효율화 그리고 에너지 사용의 전기화(electrification)

등이 필수적이다. 이는 산업구조를 근본적으로 개편해야 가능한 것인데, 당장은 불가능하므로 단계적으로 개편하기 과정에서 CCUS 기술이 효과적인 방안으로 사용될 수 있기 때문이다¹⁾(그림1).

그림 1

CCUS가 넷제로를 달성하기 위한 효율적인 해결책이 될 수 있다



출처: IEA, <https://www.iea.org/articles/net-zero-by-2050-data-browser>

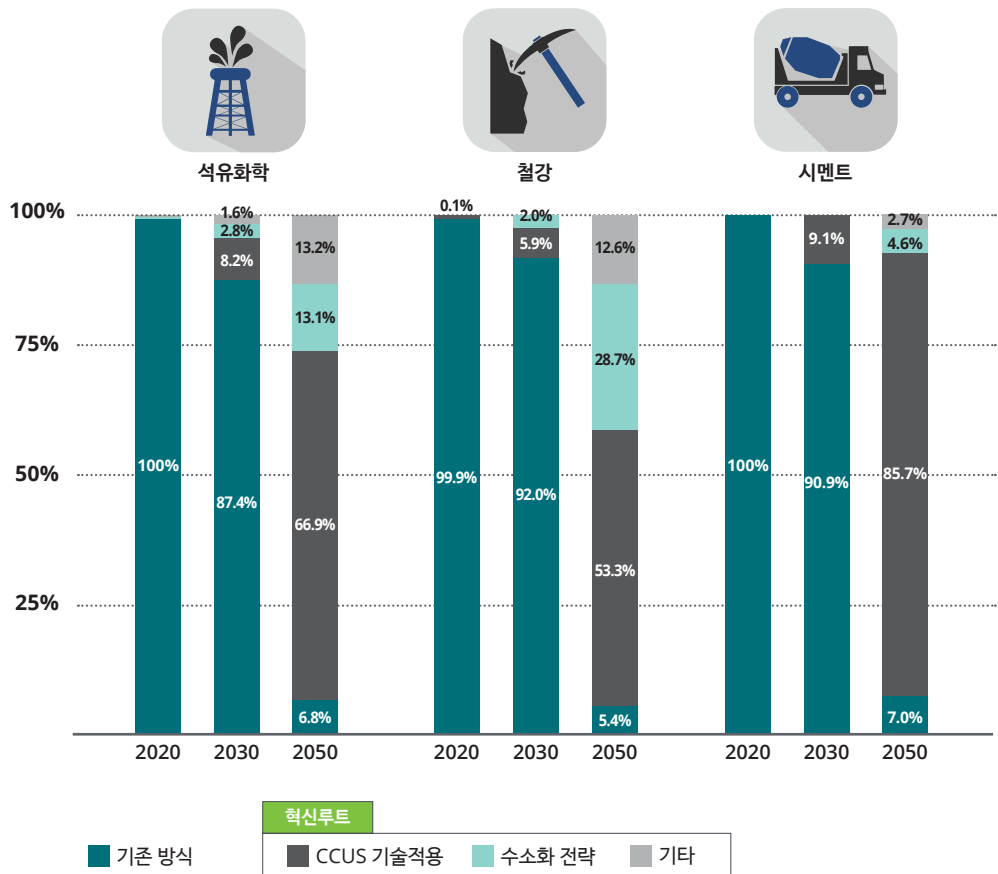
1 그린피스, 10분만에 읽는 '파리기후변화협정' A to Z, 2021

자세히 살펴보면, 탄소배출이 높은 산업군은 철강(25%), 시멘트(25%), 화학 및 석유화학 제품(30%) 등이다.² 이들은 우리나라가 모두 보유하면서 선도하고 있는 산업군이다. 탄소배출량이 높은 산업군을 가지면서 수출에 의존하는 나라일수록 유럽이나 미국에서 도입 과정에 있는 탄소국경세(Carbon border tax)의 부담을 질 뿐 아니라, 국내적으로도 탄소세가 도입되며 이에

대한 큰 경제적인 부담을 지기에 CCUS 기술에 대한 투자와 전략적인 대책이 불가피하다. 만약 CCUS 기술로 탄소 배출을 어느정도 상쇄시킬 수 있거나 탄소 배출권(Carbon Credit)을 획득하여 거래를 할 수 있게 된다면, 제2의 수입을 창출할 뿐 아니라 기업이 CCUS기술을 도입하게 하는 유인책이 될 수 있다(그림 2).

그림 2

산업군별 탄소 감축 방안 및 목표



출처: IEA, <https://www.iea.org/articles/net-zero-by-2050-data-browser>

2 IRENA, A Summary of Reaching Zero with Renewables: Eliminating CO₂ Emissions from Industry and Transport in Line with the 1.5°C Climate Goal, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2020.

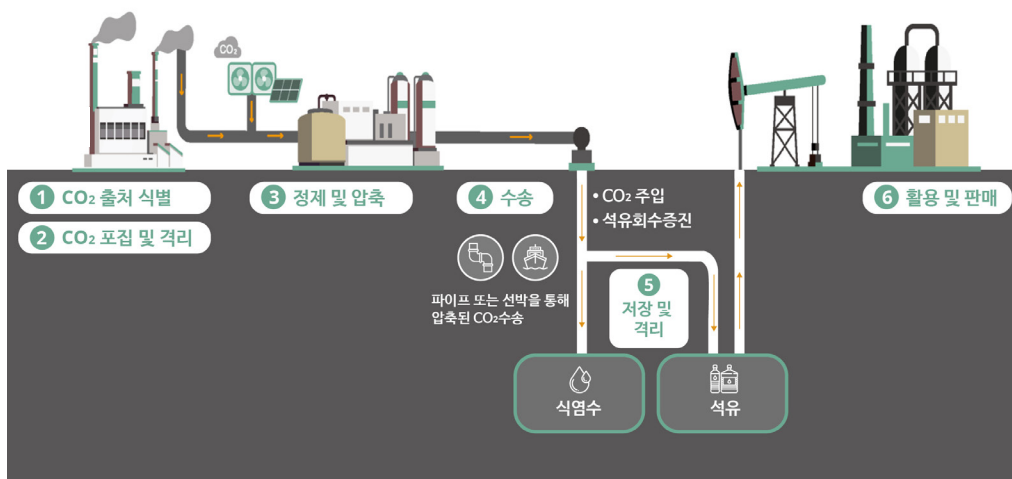


☑ 이산화탄소포집·활용·저장기술(CCUS)이란?

대기 중의 산소나 수소와는 달리 이산화탄소나 메탄의 경우 열(적외선 파장)을 복사하여 방출하기 때문에 대기 온도를 상승시킨다.³ 지구 온도 상승을 억제하기 위해 인류가 경제활동을 통해 배출한 탄소를 가장 효율적으로 없애는 방안을 강구하기 위해 많은 기업과 연구소들이 CCUS 연구를 진행해왔는데, 그림 3에서 살펴보면 총 4가지 단계에서의 각각의 기술이 필요하여 각 단계에 투자 또한 시급한 상황이다.

그림 3

CCUS의 도식



출처: UNECE 웹사이트

3 빌 게이츠, 기후 재앙을 피하는 법: 우리가 가진 솔루션과 우리에게 필요한 돌파구, 김영사, 2021

4 흡수제 또는 흡착제로는 아민류와 같은 알칼리 흡수액이나 제올라이트가 있다.

5 (재)한국이산화탄소포집 및 처리연구개발센터 웹사이트

6 부피가 너무 커서 비용이 너무 많이 들기 때문에 파이프라인은 최적의 선택만이 아니다.

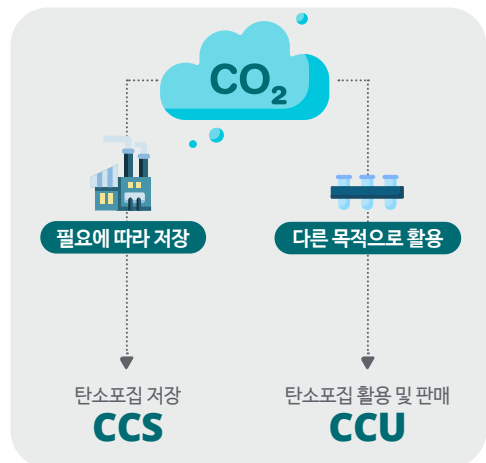
첫 번째는 '포집' 단계이다. 석탄 및 천연가스 화력발전소, 제철소, 시멘트 또는 정유 공장 같은 대규모 산업 공정 시설에서 생성된 온갖 불순물 중에 이산화탄소만을 따로 분리하는 단계이다. 이산화탄소는 대기중에 분산되는 성질이 있기 때문에 이런 산업 공정 시설에 '흡수제' 또는 '흡착제'를 설치하여 이산화탄소만을 걸러내는 작업을 해야 한다. 포집 방안으로는 습식⁴, 건식 그리고 분리막 공정 등이 있는데, 습식이 현재까지 상용화단계에 앞서 있다고 할 수 있다.

포집 기술로는 1)연소 후 포집 기술, 2)연소 전 포집 기술, 3)순산소 연소 포집 기술 등이 있다. 연소 후 포집 기술은 흡수제를 이용하여 연소 후 배기가스에 포함된 이산화탄소를 분리하는 기술로 기존 발생원에서 적용하기 가장 용이하며, 연소 전 포집 기술은 석탄의 가스화 또는 천연가스의 개질 반응을 통해 합성 가스를 생산한 후 수성가스전이반응(water gas shift reaction)을 통해 수소와 이산화탄소를 포집하는 방식이다. 순산소 연소 포집 기술은 질소 성분을 배제한 순도 95% 이상의 산소와 재순환된 배기가스를 사용해 미분탄을 연소시켜 이산화탄소와 물이 대부분을 차지하는 배기가스를 생성하는 과정을 일컫는다.⁵

두 번째 단계는 '압축(포집 후 공정) 및 수송' 단계이다. 보통 분리된 이산화탄소를 전환할 때 고온의 스팀가열기로 80에서 100기압의 압력을 가하면 액화할 수 있다. 압축 단계에서는 '누가 더 적게 열을 사용하는가'가 관건인데, 이 과정에서 사용된 전기 에너지량이 총 전기 생

산량에서 차지하는 비율을 측정하여 공정 비용(고온수 증기를 누가 더 적게 사용하는지)과 기술의 우수성을 정한다. 액화된 이산화탄소는 파이프라인⁶, 트럭, 선박이나 다른 이동수단으로 심해 지반과 같은 깊은 지하 퇴적층에 저장된다.

마지막 단계는 '저장' 또는 '사용 및 판매'로 나뉜다. 수송된 이산화탄소를 필요에 따라 저장하면 '탄소포집저장(CCS)' 그리고 다른 목적으로 활용하면 '탄소포집활용 및 판매(CCU)'가 된다.



CCS 단계는 보통 액화된 이산화탄소를 지하 퇴적층에 매립하여 온실가스 감축이라는 단일한 목표를 지닌 것을 말한다. 저장 단계에서 가장 중요한 것은 안전하게 지하에 매립을 할 수 있는 것을 말하며, 이것이 수송 방법과 밀접하게 연관이 되어 얼마나 깊이 그리고 멀리 매립하는지에 따라 비용이 측정된다.

반면 CCU는 우선 이산화탄소를 전환(Convert)하여 활용하는 방안과 그대로 사용(Use)하는 방법 두 가지가 존재한다. 전환 방법은 이론적으로는 다양하지만 글로벌 기술 발전(성숙도) 동향 및 실현 가능성, 잠재성 요인에 따라 크게 세 가지 유망 분야로 분류된다. 첫 번째는 화학적 전환으로, 이산화탄소에 촉매 반응을 일으켜 메탄올, 요소, 우레탄 등의 화학제품의 원료로 전환하는 기술이다. 두 번째는 생물학적 전환 기술로 광합성물이 굉장히 높은 미세조류(플랑크톤 등)를 이용하여 이산화탄소를 화학물질로 전환하여 바이오 자원을 하는 것이다. 이들의 광합성으로 이산화탄소를 물질로 전환하는 방법이기 때문에 화학적 방법에 비해 굉장히 느려 비교적 효율성이 낮다. 세 번째는 광물학적 전환 방법으로 광물 탄산화 전환으로 광물질(칼슘염 등)과 반응시켜 건축 자재 등을 생산하는 방식이 있다. 그 외에도 고온의 열을 활용하여 포집된 이산화탄소를 합성가스로 변환한 후에 디메틸에테르(DME)와 합성항공유를 생산하는 기술이 있고, 전기화학적 방법을 사용하여 합성가스, 에틸렌 등의 산출물을 생성하는 기술이 존재한다. 현재 CCU의 실현화를 위해서는 생산 비용 저감, 전환 공정의 효율성 개선, 설비 확장, 시장 형성 등 여러가지 도전과제가 남아 있지만 많은 기업들과 정부가 배출된 이산화탄소를 활용하기 위한 다양한 방안을 내놓고 있다.

이산화탄소를 그대로 사용(Use)하는 방안으로 가장 대표적인 것은 액화된 이산화탄소를 지하 퇴적층에 매립하여 지하의 압력을 높임으로써 원유를 비교적 쉽게 채굴하는 석유회수증진(Enhanced Oil Recovery, EOR)용으로 저장하는 경우다.⁷ 기술적으로 보면 흔히 CCS로 혼동하는 경우가 많은데, 이는 석유를 쉽게 채굴하는 방식이므로 이 자체가 온실 가스 감축 목표로 이산화탄소를 매립하는 것이 아니라 CCU로 분류된다. 또 다

른 방식으로는 비닐하우스 등에 주입하는 농축산업에서 사용되는 방안과 음료수에 주입하는 방안이 있지만 수요가 크지 않을 뿐 아니라 아직 경제성이 기존의 제품에 비해 많이 떨어지므로 활용도가 매우 낮다.

CCU의 기술은 수소화 전략에서도 빼놓을 수 없는 기술이다. 전 세계적으로 2050년까지 수소에너지 수요는 2015년에 비해 약 10배 가까이 증가할 것으로 예상되며, 이는 전체 에너지 수요의 7%에 미칠 것으로 예상된다.⁸ 수소 경제를 크게는 세 가지로 나눌 수 있는데, 그레이(Grey) 수소, 블루(Blue) 수소, 그린(Green) 수소이다. 그레이 수소는 기존의 화력발전소 또는 석유화학 공정이나 철강 등을 생산할 때 발생하는 부산물로 나오는 수소, 즉 부생 수소와 천연가스 개질 등을 말하며, 블루 수소는 그레이 수소를 만드는 과정에서 CCU 기술을 활용하여 탄소배출을 줄이고 수소만 걸러낸 것을 일컫는다. 마지막으로 그린 수소는 재생에너지 전력으로 수전하여 생산된 수소로 온실가스 배출이 전혀 없는 공정을 말하는데, 그레이 수소에서 그린 수소로 넘어가는 방식이 가장 이상적이지만 이 또한 단계적으로 봤을 때 블루 수소 경제를 거치지 않을 수 없어 보인다. 대신 화석연료에서 발생한 이산화탄소를 포집해서 산업 용도로 사용할 수 있기 때문에 많은 기업들이 관심을 가지고 있다. 에쓰오일 같은 경우는 수소제조공정에서 발생하는 다량의 이산화탄소가 포함된 부생 가스를 공급하고, 동광화학은 CCU로 부생가스에서 이산화탄소를 정제해 산업 및 식품용 액화탄산과 드라이아이스를 생산하고 있다.⁹ 한국중부발전 또한 보령에 연간 25만톤의 블루 수소를 생산할 수 있는 수소 생산기지 건설을 위해 2조 5,000억원을 투자하는 것을 논의 중이며, 이르면 2025년 중반 즈음에 수소 생산 및 판매까지 진행할 것으로 기대된다.¹⁰

7 원유 회수 증진으로 원유를 채굴할수록 압력이 낮아져 채굴이 어려워지는 문제를 지층에 이산화탄소를 주입해 압력을 높임으로써 해결하는 방안이다.

8 딜로이트, 수소 경제의 본격화 시점, 결코 먼 미래가 아니다, 2020

9 S-Oil 웹사이트, 슬기로운 ESG 경영...중소기업 성장 돕고, 온실가스 감축도, 2021.03.18

10 전기신문, “중부발전, 보령에 블루수소 생산기지”, 2021.04.15.

CCU를 활용하는 기업들

가장 활발하게 이산화탄소를 활용하는 산업군은 에너지 및 석유화학과 정유 회사들이다. 특히 셸(Shell), 셰브론(Chevron), BP, 엑손모빌(Exxon Mobil) 등의 기업은 지하 퇴적층에 이산화탄소를 저장함으로써 원유 펌프질을 더 쉽게 할 수 있는 석유회수증진 방안을 택하고 있다. 다만 이를 통해 감축된 탄소배출량은 단순히 석유를 더 많이 증산하려는 것이라는 '그린 워싱(Green Washing)'의 질타가 존재하여 아직까지는 온실가스 감축량으로 인정을 받지 못하고 있다. 하지만 탄소 포집에 사용되는 투자금과 해당 기술로 상쇄된 탄소배출량을 고려하면 오히려 탄소배출권(Carbon Credit) 도입과 탄소 자원화를 위한 정부의 다양한 정책 및 제도적 체계 조성이 필요할 것으로 보인다.

국내에선 현대오일뱅크가 최근 탄소 포집과 정제 과정에서 발생한 부산물과 결합해 탄산칼슘을 제조하는 것에서 더 나아가 메탄올도 상용화한다고 발표했다.¹¹ 롯데케미칼은 CCU설비를 공장 굴뚝에 설치하여 탄소를 폴리카보네이트(PC) 제품의 생산 원료로 사용하거나 드라이아이스, 반도체 세정액 원료 등으로 만들어 인근 중소 화학사에 판매하고 있다.¹² KC코트렐의 경우는 미세먼지뿐 아니라 화동 화력에 연소 후 건식 이산화탄소 포집 설비를 설치하여 실증 사업을 수행하고 있다.

철강산업 또한 탄소 배출 저감을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 철강 공정은 대량의 이산화탄소 배출

원과환원제가 존재하는 산업으로, 탄소자원화에 매우 적합한 업종이다. 철광석에서 불순물을 제거하기 위해 석탄과 환원 반응을 일으키는 제선 공정에서 탄소가 주로 배출되는데, 독일의 티센크루프(ThyssenKrupp)는 이산화탄소를 탄소로 전환하는 '탄소에서 화학물질(Carbon2Chem)'과 석탄을 그린 수소로 대체 환원하는 '수소 도로(Hydrogen Route)'를 시도하고 포집된 이산화탄소를 암모니아, 메탄올, 고분자, 알코올 등과 같은 화학 물질로 가공하는 것을 목표로 하고 있다.¹³ 스웨덴의 싸브(SSAB)와 유럽 1위 철강사인 아르셀로 미탈(ArcelorMittal) 또한 수소환원제철 공법을 적용한 공장을 이미 신설하였다. 특히 싸브의 경우, 2026년에 세계 최초로 석탄 등 화석연료를 전혀 쓰지 않는 '그린 스틸'을 시장에 내놓겠다는 목표를 내걸었다. 포스코는 수소 사업 진출 선언에 이어 산업가스·수소사업부 및 탄소중립 제철기술 개발 조직인 저탄소 공정연구 그룹을 신설하였다.

한편, 미세조류를 활용한 기관 중 한국지역난방공사 가 열병합발전소 배기가스를 활용한 미세조류 광배양 시스템을 개발 중이다. 이 기술이 개발될 경우, 발전소에서 내뿜는 배기가스를 30% 가량 감축하고 바이오디젤을 생산할 수 있으며 무엇보다도 의약품, 건강식품, 화장품, 사료로 이용되는 항산화물질인 아스타잔틴의 순도 80% 이상 추출도 가능해 보인다.¹⁴



11 조선비즈, "이산화탄소 모아 건축자재로 활용... 정유·화학사가 몰두하는 이 기술" 2021.05.16

12 뉴데일리경제, "'탄소의 자원화'... 정유·석화업계, CCU 상용화 '가속도'", 2021.05.03

13 카이스트신문, "기후변화의 주범 이산화탄소, 새로운 자원이 되다" 2019.09.24

14 해럴드경제, "한남, '미세조류 활용 기술' 상용화" 2021.01.25

이 분야에서 스타트업의 활발한 활동도 눈 여겨 볼 필요가 있다. 대표적인 기업은 캐나다의 카본엔지니어링(Carbon Engineering)과 미국의 글로벌서모스탯(Global Thermostat), 그리고 스위스의 클라임웍스(Climeworks) 등이다. 카본엔지니어링은 흡입기를 이용해 공기를 빨아들이고, 수산화포타슘 용액으로 이산화탄소를 분리한다. 글로벌서모스탯은 다공성 세라믹 소재를 이용해 표면적을 최대한으로 넓히고 아민 기반 흡착제를 결합시켜 스펀지처럼 이산화탄소를 빨아들이는데, 이는 자동차의 촉매변환장치에서 아이디어를 착안했다고 한다. 클라임웍스(Climeworks)는 흡입기로 공기를 빨아들인 뒤, 흡착제 성분이 들어간 필터로 이산화탄소만을 포집한다(Direct Air Capture, DAC). 이 회사는 포집한 이산화탄소를 비닐하우스에 제공해 작물을 잘 자라도록 돕거나 코카콜라 스위스에 공급하여 탄산음료를 제조하는데 사용한다고 한다. 클라임웍스는 카브픽스(Carbfix)와 온파워(On Power) 등의 기업과 함께 아이슬란드에 최대 규모인 오르카(Orca) 프로젝트 또한 수행하고 있다. 클라임웍스의

기술로 걸러낸 순도 높은 이산화탄소를 카브픽스가 2년 안에 탄산염 광물로 바꾸고 광물화 과정에 필요한 에너지는 온파워가 지열에너지로 공급하는 삼각 협력 모델을 구축하여 진행하고 있다.

포집된 이산화 탄소를 그대로 사용하는 기업으로는 노바셈(Novacem)이 있다. 이 기업은 최근 포틀랜드 시멘트 1톤을 대체할 때마다 공기 속에서 0.75톤의 이산화탄소를 마그네슘 규산염을 사용해 영구히 붙잡아 고정하는 ‘녹색 시멘트’ 개발에 나섰다. 시멘트 산업에서의 탄소 저감이 중요한 이유는 원료인 석회석을 1,500°C의 고온으로 가열하는 데 연료가 많이 드는 데다, 원료 속 탄산칼슘을 가열해 생석회로 만드는 과정에서 이산화탄소가 발생하기 때문이다. 포집된 이산화탄소를 활용하는 기업으로는 미국의 란자테크(LanzaTech)가 있는데 실제로 버진애틀랜틱항공(Virgin Atlantic)과 협력하여 탄소포집 활용 방법으로 추출된 지속가능항공연료(Sustainable Aviation Fuels, SAF)인 에탄올을 생성하여 2018년에 보잉 747을 운행하는 데 성공하였다

그림 4

탄소포집 기술과 포집된 이산화탄소를 활용하는 스타트업 리스트

기업	기업설명	국가
Airovation	Airovation의 슈퍼 옥사이드 기반 CO ₂ 를 광물로 변환시키는 기술을 보유하고 있습니다. 또한 이산화탄소를 화학적 전환방법을 통해 산소와 물로 변환시켜주는 기술을 보유하고 있어 공기청정기, 공조기 분야에 적용하고 있습니다.	이스라엘
Avro Technologies	Avro는 좌초된 천연 가스, 플레어 가스 및 비경제적인 천연 가스를 더 높은 가치의 제품으로 전환하기 위한 솔루션을 개발했습니다. 각 생산 공장은 장기 가스 공급(원료) 계약으로 확보되고 메탄올 또는 에탄올은 사전 판매를 가능하게 하였습니다. 당사의 초기 제품은 메탄올이었지만 이제는 많은 스피ن 오프 기회가 생겼습니다. 최근 합성 에탄올로 이산화탄소를 포획하고 격리할 수 있는 기회와 관련하여 새로운 응용 프로그램을 개발했습니다. 탄소포집 및 재활용(CCR) 기술은 이산화탄소 배출 감소 측면에서 탄소 포집 및 격리의 모든 이점을 활용하는 동시에 막대한 비용이 드는 CO ₂ 저장의 단점을 피할 수 있습니다.	캐나다
C2CNT	C2CNT는 탄소 나노 튜브 제품을 출시하고 탄소 포집 기술을 라이선스 하고 있습니다. 당사의 공정은 재활용된 이산화탄소로 더 저렴하고 지속 가능하며 더 나은 품질의 탄소 나노 튜브를 생산하는 것입니다.	캐나다
Caber Engineering	Caber Engineering은 탱크 터미널, 철도 적재, 가스 처리 및 탄소 포집 분야의 엔지니어링 회사이자 업계 리더입니다.	캐나다

기업	기업설명	국가
Calera	Calera Corporation은 탄소 격리 영역의 전문업체입니다. 온실 가스와 CO ₂ 를 포집하여 지구 온난화와 해양 산성화를 완화시키고 지구 대기의 CO ₂ 수준을 감소시키는데 기여합니다.	캐나다
Cambridge Carbon Capture	Cambridge Carbon Capture(CCC)는 IP 보호 및 CO ₂ 광물화 기술을 기반으로 산업용 CO ₂ 포집 및 저장 / 활용에 대한 획기적인 기술 솔루션을 개발하고 있습니다. CCC의 기술은 현재 탄소 가격보다 낮은 가격으로 산업용 연소가스에서 CO ₂ 를 제거할 수 있는 잠재력을 가지고 있으며, 이 공정에서 발생하는 금속 및 기타 광물 부산물의 판매로 수익을 올리고 있습니다.	영국
Carbominer	Carbominer는 CO ₂ 를 포집하여 이를 저렴하고 기후 친화적인 대안으로 온실 운전자에게 제공합니다.	우크라이나
Carbon America	Carbon America는 비용을 저감하고 배치를 빠르게 증가시켜 탄소 포집 및 격리(CCS) 시장을 선도하고 있습니다. 당사는 경쟁 제품보다 더 빠르고 저렴하며 스마트하게 이산화탄소를 포집하고 격리하는 다중 전략 접근 방식을 사용합니다.	미국
Carbon Clean Solutions	Carbon Clean Solutions는 산업용 CO ₂ 포집 기술을 전문으로 하는 혁신 회사입니다. 당사의 획기적인 아민촉진완충염(APBS) 기술은 운영 비용과 환경 영향을 크게 줄여 탄소 포집 및 격리(CCS) 기술을 효율적으로 만듭니다. 당사는 최대 90%의 이산화탄소를 제거하기 위해 발전소 및 산업 설비에 독점 기술을 적용합니다. 당사가 개발한 탄소 포집 기술은 향상된 에너지 통합 CO ₂ 포집 프로세스와 결합되었고, 재생 가능한 고급 흡수제를 사용하여 이산화탄소를 포집합니다. APBS CO ₂ 포집 기술은 새로운 발전소에 내장되거나 기존 발전소에 적용 될 수 있습니다.	영국
Carbon Engineering	Carbon Engineering은 대기에서 직접 CO ₂ 를 포집하고 이를 깨끗하고 저렴한 운송 연료로 합성하는 획기적인 기술의 상용화를 선도하는 청정 에너지 회사입니다. 당사는 스쿼미시(Squamish)의 파일럿 플랜트에서 2015년부터 대기 중 CO ₂ 를 제거하고 2017년 12월부터 이를 연료로 전환하고 있습니다.	캐나다
CarbonOrO	CarbonOrO는 맞춤형 아민 흡수제를 사용하여 가스에서 CO ₂ 를 포집합니다. 주변 조건에서 원시 가스(CO ₂ 포함)는 왼쪽 흡수기 바닥으로 들어갑니다. 아민 용액은 가스 흐름과 역류하여 위에서 아래로 흐르고 가스에서 CO ₂ 를 흡수합니다. 아민 용액은 가열에 의해 방출되는 탈착기로 CO ₂ 를 운반합니다. 전통적인 아민 탈착제는 120°C 이상에서 작동합니다. CarbonOrO 탈착기 온도는 70°C까지 낮아 에너지를 10-25% 절약합니다. 또한 산업 환경에서 일반적으로 저렴한 비용으로 사용할 수 있는 응축 증기로 가열을 합니다. 탈착기 가열을 기존 유틸리티와 적절히 통합하면 에너지 비용을 최대 50%까지 절약할 수 있습니다. 탄소 포집은 DAC 방법으로 이루어지며 원료 가스를 압축할 필요가 없습니다.	네덜란드
C-Capture Limited	C-Capture Ltd는 CO ₂ 기반 화학 및 엔지니어링에 대한 광범위한 지식을 활용하여 가스 흐름에서 CO ₂ 를 제거하기 위한 용매 시스템 설계에 대한 상향식 접근 방식을 개발합니다.	영국
CleanO2	CleanO2 Carbon Capture Technologies는 난방 산업을 변화시키고 있습니다. 현재 캐나다에서 주거용 탄소 포집 장치를 배치했으며 전 세계적으로 기술을 확대시키고 있습니다. 당사는 탄소 제거 기능을 추가 한 CARBiNX라는 상용 탄소 포집 장치를 개발했습니다. 열 회수를 통해 에너지 수요를 줄이고 탄소 포집 공정을 사용하여 귀중한 부산물을 생성합니다.	캐나다
Climeworks	Climeworks는 상업적인 이산화탄소 제거 기술을 통해 공기에서 CO ₂ 를 포집합니다. 직접 공기 포집(DAC) 플랜트는 주로 낮은 등급의 열을 에너지원으로 사용하여 필터로 CO ₂ 를 포집합니다. 그런 다음 순수 CO ₂ 가스는 상업 농업, 식음료 산업, 에너지 부문 및 자동차 산업을 포함한 주요 시장의 고객에게 판매됩니다. 고객은 탄산 음료에 필요한 CO ₂ 또는 탄소 중립 탄화수소 연료 및 재료를 생산합니다. 또한 고객이 배출량을 저감시킬 수 있게 포집된 CO ₂ 를 안전하게 저장하여 기후 목표를 실현할 수 있도록 합니다.	스위스

기업	기업설명	국가
CO ₂ Solutions	CO ₂ Solutions는 효소/미세물로 탄소를 포집하는 선도적인 혁신 업체이며 발전소 및 기타 대규모 고정 탄소 오염원에 대한 기술을 상용화하고 있습니다. 당사는 연소 후 탄소 포집 방법을 위해 효소, 탄산 탈수 효소 또는 그 유사체의 사용을 다루는 광범위한 특허 출원 및 출원 중인 특허 포트폴리오를 구축했습니다.	캐나다
CO ₂ Concrete	CO ₂ Concrete는 탄소 포집 없이 CO ₂ 배출을 건축 자재 및 제품으로 전환하고 있습니다.	미국
Compact Carbon Capture	Compact Carbon Capture의 임무는 CO ₂ 포집 비용을 줄이고 탄소 포집 장비를 보다 쉽게 배치하고 있습니다. 당사의 기술을 통해 재생 에너지 및 생산 효율성을 통해 탈탄소화가 어렵거나 불가능한 경우에도 CO ₂ 배출을 제거할 수 있습니다. 3C 기술은 바이오에너지 CCS를 통해 대기에서 CO ₂ 를 추출할 수도 있습니다. Equinor와 Fjell Technology Group 등으로부터 모든 IP와 노하우를 이전 받았습니다.	노르웨이
Ecoera	바이오 숯 혁신 기업인 Ecoera는 지속 가능한 바이오 숯 시스템을 통해 탄소 포집을 포함한 지속 가능한 소규모 도시 농업을 가능하게 하는 기술을 제공합니다.	스웨덴
Global Thermostat	Global Thermostat은 대기 및 기타 공급원에서 직접 이산화탄소를 포집하는 기술을 개발하고 상용화합니다.	미국
Gravitas Infinitum	Gravitas Infinitum은 탄소 포집, 바이오 소재, 버려진 플라스틱 및 전기차 분야에서 운영하는 지속 가능한 임팩트 지주회사입니다.	미국
HDS International	HDS International은 첨단 재생 에너지, 폐기물 관리, 조류 바이오 매스 생산, 탄소 포집 및 격리, 그리고 포집된 이산화탄소를 다양한 방법으로 활용하고 있습니다.	미국
Innovator Energy	Innovator Energy의 독점적인 CO ₂ 포집 기술로 발전소 배기 가스에서 CO ₂ 를 분리합니다. 당사의 포집 방법은 기존 CO ₂ 포집 프로세스보다 75% 적은 에너지를 필요로 합니다. 당사의 기밀 CO ₂ 포집 기술인 CO ₂ Evolution™은 섭씨 28도까지 낮은 온도의 풍부한 저온 폐열로 완전히 구동되며 기존 CO ₂ 포집 공정보다 운영 비용이 90% 더 낮습니다.	미국
Kilimanjaro Energy	연구 개발 회사인 Kilimanjaro Energy는 대기 중 CO ₂ 포집을 위한 공기 포집 기술의 시연, 상용화 및 공표에 참여하고 있습니다. 대기 탄소 포집 시스템인 ACCESS의 개발에 중점을 둡니다.	미국
LanzaTech	LanzaTech는 산업용 배출 가스에서 포집된 탄소를 재활용함으로써 모든 바이오 매스 자원에서 생성된 합성 가스(예: 도시고형폐기물 (Municipal Solid Waste, MSW), 유기산업폐기물, 농업 폐기물) 그리고 개량된 바이오 가스로부터 발생되는 이산화탄소를 포집하여 재활용합니다. 당사의 탄소 재활용 기술은 양조장, 제철소 또는 매립지와 같은 배출원을 개조하는 것과 같지만 설탕과 효모를 사용하여 맥주를 만드는 대신 박테리아로 오염물을 연료와 화학 물질로 전환합니다.	미국
Newlight Technologies	Newlight는 공기와 메탄 기반 온실 가스 배출을 결합하여 유성 플라스틱의 성능과 맛먹는 포집된 탄소를 만든 플라스틱 소재인 AirCarbon™을 생산하는 탄소 포집 기술을 상용화했습니다.	미국
Novacem Limited	Novacem은 영국 런던에 본사를 둔 산화 마그네슘 기반 시멘트 개발 업체로, 시멘트 산업을 상당한 CO ₂ 배출원에서 CO ₂ 흡수제로 전환시키는 잠재력을 보유하고 있습니다.	영국
Oakbio	Oakbio는 CCU회사입니다. Oakbio는 유해 폐기물에서 배출되는 탄소를 고부가 가치 제품으로 전환하는 기술을 보유하고 있고 상대적으로 가치가 낮은 바이오 연료를 생산하는 다른 회사와 달리 수익성이 있는 재생 가능 제품 생산에 중점을 둡니다. Oakbio의 비즈니스 모델은 기존 산업 비즈니스와 협력하여 Oakbio의 핵심 기술을 기반으로 낮은 설비투자 및 운영비용으로 탄소 포집 및 활용 바이오 공장을 개발하는 것입니다.	미국

기업	기업설명	국가
OPUS12	OPUS12는 CO ₂ 를 화학 물질과 연료로 재활용하는 장치를 개발했습니다. 당사의 기술은 모든 CO ₂ 배출원에 연결되고 물과 전기를 사용하여 CO ₂ 를 세계에서 가장 중요한 화학 제품으로 변환합니다. 당사는 폐기물로 버려지는 것으로부터 새로운 수익원을 창출하는 동시에 배출원의 탄소 발자국을 줄일 수 있는 기술을 보유하고 있습니다.	미국
Pond Technologies	Pond Technologies는 기존 산업 현장에 배치 할 수 있는 확장 가능한 탄소 포집 및 활용 기술을 상용화한 최초의 회사 중 하나입니다. 당사는 독점적인 생장 플랫폼을 사용하여 밀폐 용기(대형 탱크)에서 빠른 속도로 조류를 재배하여 추가 처리를 위한 대량의 고품질 조류 바이오 매스를 생성합니다. Pond의 조류는 기능 식품(아스타잔틴)을 포함한 다양한 제품으로 전환됩니다. 당사의 생장 플랫폼은 물 손실이 없고 기존 산업 현장의 토지 면적을 최소화하는 모듈식의 확장 가능한 볼트 연결 솔루션입니다.	캐나다
Skyonic	Skyonic Corporation은 장기 저장을 위해 이산화탄소 배출을 고체로 변환하는 환경 기술 회사입니다. 당사는 연소 후 탄소 포집 및 격리 기술인 SkyMine을 제공합니다. SkyMine 기술은 컨디셔닝된 온도의 연소 가스에서 중금속, 산성 가스 및 이산화탄소를 제거하고 탄소 배출을 안정적인 중탄산 나트륨으로 저장하여 토지 또는 광산에 채움으로써 장기 저장하고 배출을 위해 연소 가스를 플랜트 스택에 반환합니다. 당사는 시설 및 장비의 건설, 설치 및 유지 보수를 위한 서비스도 제공합니다.	미국
Summit Power Group	Summit Power Group은 EOR을 위한 탄소 포집 프로젝트, 고효율 천연 가스 화력 발전 프로젝트, 유틸리티 규모의 PV (태양 광 발전) 태양 에너지 프로젝트 및 대규모 풍력 발전 프로젝트를 포함한 청정 에너지 솔루션 업체입니다. 광범위한 연료 및 화학 시장에서 근본적인 변화는 Summit의 탄소 포집 사업부가 EOR 용 CO ₂ , 비료 용 요소 및 암모니아와 같은 부가가치 산업 제품 생산을 적극적으로 할 수 있는 기회를 창출했습니다.	미국
Svante	Svante는 배출 집약적 산업의 기업에 안전한 저장을 위해 기존 인프라에서 대규모 배출 CO ₂ 를 포집하거나 폐쇄 루프에서 추가 산업 용도로 재활용할 수 있도록 상업적으로 실행 가능한 CCUS 기술을 제공합니다. Svante는 기존 솔루션의 자본 비용의 절반 미만으로 직접 CO ₂ 를 포집할 수 있는 능력을 통해 산업 규모의 탄소 포집을 실현합니다.	캐나다
Syngip B.V.	Syngip은 CCU의 생명 공학 기술회사입니다. 당사는 탄소와 수소를 포집하여 재생 가능한 생화학 물질과 바이오 연료를 생산할 수 있는 박테리아를 생성합니다.	네덜란드
ThermoEnergy	ThermoEnergy의 청정 연소 기술인 POXC™ (Pressurized Oxy-Combustion)는 기존 화석 연료에 의존하는 전력 생산자와 제조업체가 저렴한 에너지를 활용하는 동시에 거의 모든 대기 배출을 제거하고 완전한 CO ₂ 포집을 달성할 수 있도록 합니다. 당사는 Unity Power Alliance를 통해 POXC™의 상용화를 추구하고 있습니다.	미국
UNO Technology	UNO Technology는 화석 연료 사용으로 인한 온실 가스 배출을 줄이기 위해 전 세계적으로 관련된 CO ₂ 포집 기술을 개발했습니다. 이러한 기술은 UNO MK 3 용매 포집 프로세스에 중점을 두고 CCS 포집 프로세스의 주요 구성 요소에 대한 비용 절감을 제공합니다. UNO MK 3는 고효율 방식으로 작동하는 침전 탄산 칼륨 세정 용액을 사용하여 산업용 가스 흐름에서 CO ₂ 를 제거하는 폐쇄 루프 흡수 제거 시스템으로 현재 기술에 비해 많은 이점을 제공합니다. 여기에는 낮은 비용, 낮은 에너지 사용, 낮은 환경 수명주기 영향 및 제품 수익 잠재력이 포함됩니다.	호주
Wildcat Discovery Technologies	Wildcat Discovery Technologies는 충전식 및 1차 배터리를 고급 소재 개발에 초점을 맞춰 에너지 응용 분야를 위한 새로운 소재를 개발을 위한 플랫폼 회사입니다. 당사의 사업에는 가스 저장, 탄소 포집, 열 전기 및 구조 재료를 포함한 다른 응용 분야의 재료에 대한 공동 개발 프로젝트도 포함됩니다. Wildcat은 자동차, 전자, 의료, 군사 및 소비자 산업 전반에 걸친 글로벌 재료 공급 업체, 셀 제조업체 및 OEM을 포함하여 배터리 공급망 전반의 기업 리더들과 파트너십 및 협업 기회를 추구하고 있습니다.	미국

출처: 딜로이트 분석

CCUS의 순편익 및 효과

CCUS는 경제성이 뒷받침되지 않는다면 상용화하기 매우 어려워진다. 현재까지는 1톤의 이산화탄소를 처리하는 비용의 범위가 굉장히 큰데, 클라임웍스의 경우 이산화탄소를 포집하는 데 드는 비용은 1톤당 USD600-USD1,000 수준이지만 이를 2024년까지 USD200까지 낮춘다는 목표를 세웠다.¹⁵ 앞서 2018년에 하버드대학교 물리학과 데이비드 키스(David Keith)교수가 이산화탄소 포집 비용을 1톤당 USD94-232까지 낮출 수 있다는 분석을 내놓아 이 기술의 상

용화에 대한 기대를 높인 바 있다.¹⁶ 하지만 설치 비용 또한 만만치 않다. 영국의 하이넷 노스웨스트 잉글랜드 프로젝트(Hynet North West England Project)는 매년 1.1메가톤(1MT=100만 톤)의 이산화탄소를 감축하는 프로젝트로서 초기 투자 비용이 9.2억 파운드에 달했다고 한다.¹⁷ 따라서 경제성에 대한 의문점이 많이 드는 가운데, CCUS 상용화를 하기 위한 방안으로 탄소 가격제(carbon pricing)와 연동시키는 방안을 강구하고 있다.¹⁸

Interview

CCUS의 경제성을 분석하기 위해서는 CCU와 CCS를 별도로 놓고 생각해야 한다

공주대학교 권이균 교수



CCUS의 경제성을 좀 더 깊이 연구하고자 딜로이트 인사이트 팀은 공주대학교 석유지질학을 연구하시는 권이균 교수와 일문일답을 진행하였다.

권 교수는 “CCUS의 경제성을 분석하기 위해서는 CCU와 CCS를 별도로 놓고 생각해야 합니다”라고 답했다. “CCS의 경우는, 대형화가 중요합니다. 즉, 규모의 경제가 적용됩니다. 예를 들면, 100만톤 CCS의 사업과 400만톤의 CCS 사업의 경제성을 비교하면, 400만 톤의 경제성이 훨씬 높게 집계됩니다. 시설 투자비와 운영 비용은 비례적으로 증가하지 않기 때문입니다. 비용을 절감하는 기술을 개발하는 것, 효율을 높이는 운영 기술을 개발하는 것 모두 중요하지만,

15 클라임웍스 웹사이트

16 UK Government, Delivering Clean growth: CCUS Cost Challenge Taskforce report, 2018.

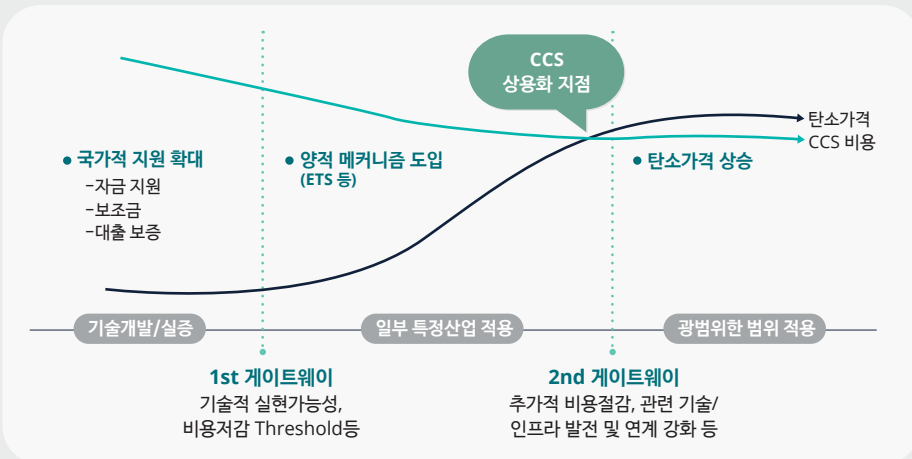
17 Ibid.

18 IEA, Is Carbon Capture too Expensive?, 2021.02.17.

근본적으로는 대형화 효과에 의해 경제성이 생기게 됩니다. 그런데 탄소 가격이 올라가는 추세잖아요? 따라서 기술 발전으로 CCS는 비용 또는 단가가 점점 내려간다고 하면 언제 접점(crossover)시기가 오느냐에 따라 경제성을 예측할 수 있을 것입니다(그림 5)."

그림 5

CCS의 상용화 지점



출처: 딜로이트 재작성 IEA(2017)자료 기반

하지만 CCU는 전혀 다른 논리이다. CCS는 매립하고 저장하는 고정 비용이 많이 들어 사업의 규모를 최대화시키는 것, 즉 톤당 비용을 저감하는 것에 초점을 맞춰야 한다면 CCU는 제품을 만들어내서 시장에서 거래를 해야하기 때문에 초기투자비용보다는 제품의 가격 경쟁력, 즉 시장을 통해 얼마만큼의 매출을 일으키는지가 관건이다. 이에 대해 권 교수는 "CCU 기술을 통해 (대표적으로) 폴리우레탄, 폴리카보네이트, 일산화탄소, 메탄올 등 30-40개의 생성된 물질은 시장에 오랜 시간 동안 존재한 연료나 원료입니다. 이미 수백년동안을 걸치면서 최적화된 기술로 가격이 형성되었다는 것을 의미합니다. 그런데 CCU를 통해 이산화탄소를 포집하는 비용도 많이 들고, 이산화탄소 자체가 굉장히 안정된 화합물이므로 이를 다시 분해해서 다른 제품으로 만드는 것에도 제품별로 많은 연료와 공정비용이 들어가기 때문에 일부는 경제성을 가질 가능성을 가지고는 있지만 쉽지만은 않을 것으로 보입니다. 즉, CCU 제품의 경제성을 분석하려면 비용이 톤당 계산이 되는데, 얼마나 수익이 나는 것인가의 문제이기 때문에 비용 분석(cost analysis)이 더 중요한 것이 아니라 매출 또는 수입원에 대한 예측이 중요합니다. 그런데 탄소 가격이 국가마다 다르고 시기마다 다르며 탄소세 그리고 탄소국경조정세까지 가동되는 방법에 따라 수익률은 매우 달라지겠

CCU는

제품을 만들어내서 시장에서 거래를 해야하기 때문에 초기투자비용보다는 제품의 가격 경쟁력, 즉 시장을 통해 얼마만큼의 매출을 일으키는지가 관건이다

죠. 따라서 CCU의 경제성을 예측하는 것은 가능하겠지만 굉장히 어려울 겁니다. 따라서 CCU 기술을 기업들이 상용화하려면 정부는 ‘공공적인 기능’을 지닌다는 것을 인지하고 CCU 제품에 대해 경제적 인센티브 또는 편익을 주는 것이 중요할 것으로 보입니다” 라고 답했다.

물론 기술적인 혁신이 일어나서 CCUS의 가격을 낮출 수는 있을 것이다. 이를 위해 많은 기업들이 많은 노력을 하고 있지만, CCUS는 복잡하고 융복합적이라 탄소 기술로 비용을 획기적으로 줄이는 것은 결코 쉬워 보이지 않는다. 또한 탄소 포집·수송·활용·저장 단계에서 어느 단계의 기술을 발전시켜 비용을 확연히 줄이는 것은 사업마다 상이하기 때문에 한 단계를 정해서 기술 투자를 한다는 것은 의미가 없다. 예를 들면, 수송 경로 또는 거리에 따라 CCUS의 비용 구조는 매우 달라진다. 육지(onshore) 사업보다는 연안(offshore)사업 비용이 훨씬 더 크므로 CCUS의 단계에서 차지하는 수송 비용이 굉장히 높아지게 된다. 반면 수송의 거리가 비교적 짧은 경우 포집 단계가 비용 구조에서 높게 차지하게 된다. 따라서 비용을 낮추기 위해 CCUS 전 공정의 최적화가 필요하며 특히 사업의 대형화를 통해 비용을 낮추는 것이 비용을 낮추는데 그게 기여할 것이다. 또한 해외사업 추진을 위해 양자간 혹은 다자간 크레딧 메커니즘 창출과 CDM 체제의 활용등도 매우 중요한 사업 모델이 될 것이다.

권 교수는 다음과 같이 말했다. “포집 기술은 매우 오래된 기술이기 때문에 범용화되어 있습니다. 다만, CCUS 기술이 복잡적이기 때문에 각 탄소 포집·수송·저장 단계에 따라서 기술 수준이 매우 상이합니다. 2019-2020년에 실시한 100여명에게 설문조사를 한 결과, 평균을 내서 계산하는 것은 의미가 없을 수는 있으나, 굳이 기술의 발전 정도를 비교해보면 선도국 대비 국내 CCUS의 기술 수준은 80%정도에 도달했고, 기술 격차는 2.5년정도 된다고 할 수 있습니다. 여기서 말하는 선도국은 CCS와 CCU에 따라 매우 다릅니다. 저장 기술은 대표적으로 노르웨이가 있지만 미국, 캐나다와 호주 등 또한 선도하고 있는데, CCS를 잘하는 국가들의 특징을 보면 석유·가스 산업을 보유하고 있는 국가들입니다. CCU 기술은 미국, 호주, 독일 그리고 영국이 선도하고 있습니다. 최근에는 인도와 중국도 CCU 기술 발전에 많은 기여를 했습니다. 즉, 석유·화학쪽으로 발전한 나라들이 CCU를 선도한다고 할 수 있죠.”

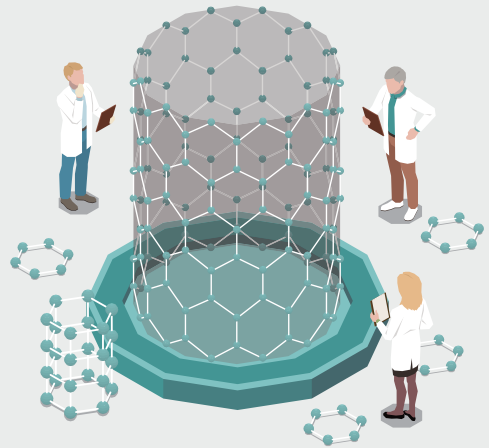
그럼 어떤 지원 정책이 있을까? 권 교수는 “CCUS 기술은 공공적인 기능이 확실히 존재하니 구매 할당제, 우선 구매제, CAPEX에 대한 지원금, 정부 보조금, 출자, 출연 및 기금 형성 등을 통한 CCU 제품에 대한 경제적 인센티브와 편익을 주는 다양한 방안이 어느 정도는 필요할 것입니다. CCS의 경우는 부지 및 시설에 대한 투자 그리고 운영비를 지원해줄 수 있겠지만, CCU의 경우는 제품을

비용을 낮추기 위해 CCUS 전 공정의 최적화기 필요하며 특히 사업의 대형화를 통해 비용을 낮추는 것이 비용을 낮추는데 그게 기여할 것이다. 또한 해외사업 추진을 위해 양자간 혹은 다자간 크레딧 메커니즘 창출과 CDM 체제의 활용등도 매우 중요한 사업 모델이 될 것이다.

구매제, CAPEX에 대한 지원금, 정부 보조금, 출자, 출연 및 기금 형성 등을 통한 CCU 제품에 대한 경제적 인센티브와 편익을 주는 다양한 방안이 필요할 것이다.

판매하기 때문에 직접 보조금은 힘듭니다. 직접 보조금은 WTO 협정과 합치하지 않기 때문이죠. 대신 시설 보조금은 어느 정도 허용될 수도 있습니다. 하지만 이를 결정하는 것은 매우 어려운 일입니다. 그나마 이를 돕고 결정하기 위해 출범한 것이 K-CCUS 추진단입니다. 더 나아가, 현재까지는 CCUS와 관련된 개별법은 있지만, 독립법이 부재했습니다. 2021년에 시작된 다부처공동사업인 R&D과제도 있는데요, 제 5세부 과제가 CCUS 단일법을 만드는 것입니다. 단일법을 만들 때 경제적 인센티브를 연구하는 팀이 존재합니다. 즉, 법률 안에 우리나라 시스템을 반영해야 할 것입니다”라고 대답했다.

하지만 더 중요한 것은 기업의 CCUS에 대한 이해도다. 아무리 정부의 지원 정책이 존재한다고 하더라도 기업 자체적으로 온실 감축에 대한 필요성이 생기기 시작한 것은 NCD 이후여서 현재로서는 국내법, 해외 진출시 규제를 극복하는 방안과 경험 그리고 국제적 네트워크가 비교적 부족한 상태이다. 권 교수는 “기업들은 구체적이고 현실적으로 CCUS의 비즈니스 모델을 만들어갈 필요가 있습니다. 또한 정부가 정책을 내놓기 이전에 법적 규제 및 환경을 좀 더 상세하게 파악하여 CCUS의 생태계가 형성되기 전까지 강력한 지원책의 기간이 될 만한 정보를 제공할 필요도 있어 보입니다. 미국의 경우 이산화탄소를 톤당 감축시킬 때마다 USD 50의 세금을 감면시켜주는 지원책이 있습니다. 따라서 현재 미국 기업들은 300만톤 이상의 사업을 활발하게 벌이기도 하죠”라고 말했다.



아직까지는 탄소 포집부터 수송, 저장 또는 활용하는데 많은 초기 비용과 유지 비용이 들기 때문에 경제성에 대한 의문이 컸지만, 최근 스타트업인 클라임웍스가 이익을 내면서 이에 대한 비즈니스 모델이 주목을 받기 시작했다. 그것은 다름아닌 이산화탄소량을 제거해주는 구독 서비스 모델이다. 클라임웍스는 소규모의 확장 가능한 조립식 설비를 운영하여 매달 7유로에서 21유로 그리고 80유로 등을 내고 가입을 하면 각각 매년 85kg, 255kg, 1톤 상당의 이산화탄소를 제거해주

는데, 이 서비스를 이용하는 글로벌 기업과 개인이 매년 증가하고 있다. 독일 완성차 업체인 아우디(Audi)는 1,000톤, 미국 핀테크 기업인 스트라이프(Stripe)는 333톤의 이산화탄소를 제거하는 계약을 클라임웍스와 맺었다. 클라임웍스는 이산화탄소를 포집해 판매하는 것만이 아닌 제거해주는 서비스 자체를 판매하여 확실하게 감축된 이산화탄소량을 측정할 수 있을 뿐 아니라 수익을 내는 모델까지 개발하여 국내 기업에 많은 시사점을 주고 있다.

CCUS와 탄소가격제와의 관계

탄소가격제에는(탄소)배출권거래제도(Emissions Trading System, ETS)¹⁹와 탄소세(Carbon Tax)가 있다. ETS는 이미 배출된 탄소의 가격을 시장에 의해 결정하게 만드는 것이지만 탄소세 같은 경우는 각각의 정부가 탄소 배출 이전에 가격을 미리 정해 놓는다는 차이점이 존재한다. 배출권거래제도는 할당량 이상의 온실가스 배출에 대한 비용을 부담하는 것뿐만 아니라, 온실가스 배출량 감축분에 대한 경제적인 인센티브를 제공한다.²⁰ 한국도 K-ETS 시장을 2015년에 도입하여 2021년부터 제3기 탄소배출권 거래 제도가 시행되고 있고, 유럽과 같이 배출권 비축 제도 또는 시장 안정화 예비분(Market Stability Reserve, MSR)의 확대 또한 예상된다.

그렇다면 시장에서 탄소배출권 가격은 어떻게 결정될까? 그림 6에서 보는 것과 같이 현재 탄소 가격이 p^* 지점에서 배출량 q^* 이 시장에서 정해진다면, 배출량을 줄이기 위해서는 ETS캡(배출허용총량)을 q^* 안쪽으로 배치해야 할 것이다. 그런 경우, 공급곡선이 줄어들어 탄소가격은 자연스럽게 올라갈 것으로 예상되지만 시장논리만 적용을 한다면 탄소 가격을 낮추는 방법은 규제 완화를 통해 공급(포집된 탄소량)을 늘리거나 수요를 줄이면 된다. 즉 감축된 이산화탄소를 톤당 계산하여 이에 대한 배출권을 획득하여 이를 시장에 내놓게 되면 공급이 늘어나고, CCUS기술 도입의 상용화 등으로 기업의 배출권 수요가 줄면 탄소가격은 자동적으로 안정화가 될 것이다. 국제적으로 배출권시장 간 연동이 된다면 해외에서의 사

그림 6

시장에 의한 탄소가격 결정

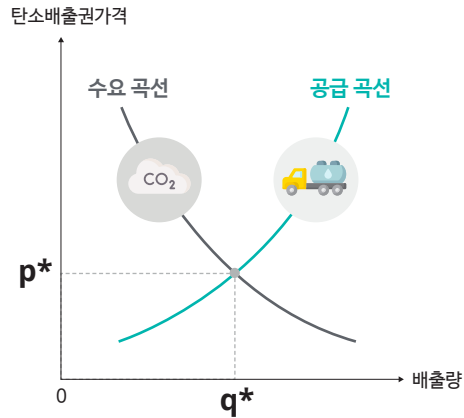
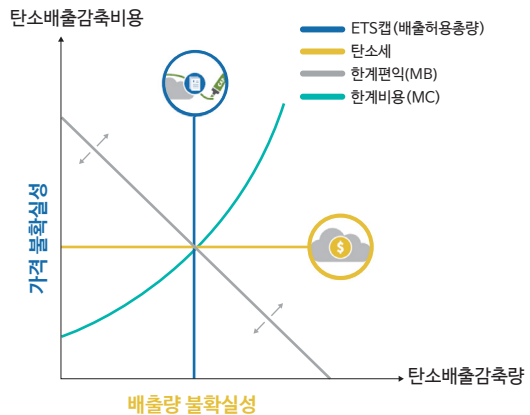


그림 7

배출 총 허용총량과 탄소배출권 거래 시장



19 탄소 배출권 거래 제도는 현재 CCS는 포함하고 있지만 아직 CCU는 포함하지 않지만 CCU가 포함되면 조화된 수명주기 평가(harmonized life cycle assessments, LCAs)와 함께 모티어링 프로토콜이 도입되어야 할 것이다.

20 인센티브 제도는 흔히 청정개발체제(CDM)로 온실가스 감축의무가 있는 선진국이 개발도상국에 투자하여 시행한 사업에서 발생한 감축분을 선진국의 감축실적으로 인정하는 제도로 온실가스 감축의무가 있는 선진국에게는 비용효과적인 온실가스 감축을 개발도상국에게는 환경적, 기술적, 경제적 지원을 동시에 제공할 수 있는 사업 체계가 도입됨으로 인해 국가간 탄소 거래가 가능해지도록 하고 있다.

업활동을 통해 얻은 배출권을 국내에서도 거래할 수 있게 되고 반대의 경우도 가능하다. 그러면 가격 변동성으로 제 2의 수입이 생기지만, 현 상황에서는 CCUS의 상용화 및 에너지 전환이 안되어 있으므로 가격의 불안정화로 인해 기업들은 실제 탄소세를 탄소가격제 보다 선호하는 경향을 보인다. 아직 국내에는 도입이 안되었지만, 탄소세는 한계비용과 한계편익이 교차하는 지점에 적용하는 것이 가장 이상적이다(그림 7). 다만, 탄소세는 배출할 당량이 정해져 있지 않으므로 온실 가스 감축 효과가 탄소 배출권거래제보다는 덜 할 수 있으므로, **국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성을 위해서 산업계를 근본적으로 바꿀 수 없다면 탄소를 포집하여 이를 저장하거나 활용하는 방안을 택해야 할 것이다.** 그리고 CCUS 기술의 발전과 활성화로 인해 탄소배출권 가격이 안정화가 되면 배출권 구매 부담도 줄어들 뿐 아니라 실제 온실 가스 감축 효과까지 가져오니 일석이조의 효과를 거둘 수 있을 것이다. 현재의 상황을 유지하면(BAU) 탄소배출권에 대한 수요가 계속적으로 늘어나 탄소 가격을 높일

것이므로, 당장은 탄소세 도입 및 ESG(환경·사회·지배구조)와 관련된 펀드 및 보조금 운용으로 수요 급등의 속도를 조절하는 수밖에 없을 것이다.

현재 K-ETS의 가장 큰 장벽으로는 글로벌 시장 간 연계 및 거래 가능한 기간의 이월제도이다. 우선 탄소 배출권을 거래하기 위해서는 이에 대한 시장을 일국 내로 국한시키면 안 된다는 지적이 나온다. 우리나라는 탄소배출량이 많은 산업군을 가진 나라이기 때문에 탄소포집기술 및 활용에 투자를 적극적으로 하면서 감축한 탄소배출량으로 배출권을 획득할 수 있어야 할 것이다. 따라서 다른 국가와 연계하여 시장을 넓힐 수 있다면 배출권거래제도로 인한 후방 산업에 대한 투자, 즉 CCUS 기술을 활용한 산업에 대한 투자가 더 활성화될 수 있을 것이다. 두 번째로는 배출권의 거래 기간이 연간으로 정해져 있어 해당 기간 내에 거래를 못하면 다음 연도로 이월이 활성화된다면 탄소 가격에 따라 이윤을 창출할 수 있는 발행시장(primary market) 뿐 아니라 유통시장(secondary market)까지 형성이 될 수 있을 것이다.

